

Kalk, sprækker og termografi

Kalk, sprækker og termografi



Annette Rosenbom &
Peter Roll Jakobsen



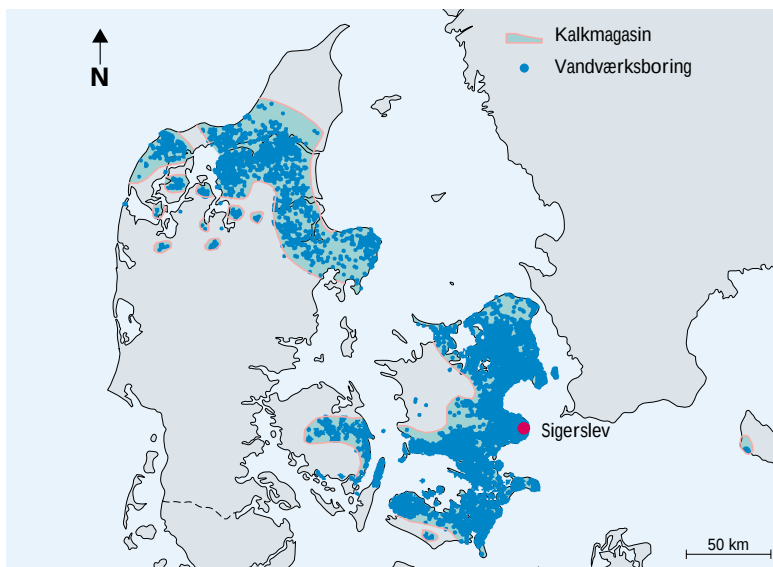
Kalk og kridt i Danmarks undergrund har i årtusinder haft vekslende betydning for samfundsøkonomien. I stenalderen var flinten i kridtet et vigtigt råstof til fremstilling af redskaber, senere i renæssancens blev flinten brugt til bøsseflint. Siden slutningen af 1800-tallet har kridtet været råstof for cementfabrikation, og kridtet er den vigtigste reservoirbjergart for olieindvinding fra Nordsøen (se GEOLOGI nyt fra GEUS nr. 2 september 2000).

Kalklagene er også reservoir for grundvand. Behovet for viden om grundvands dannelsen og strømning i kalklagene har været stigende gennem mange år. Dette behov er skabt i takt med den øgede rapportering om forurening af grundvandet og ønsket om at kunne håndtere de nuværende og fremtidige forureningsproblemer, som truer drikkevandet.

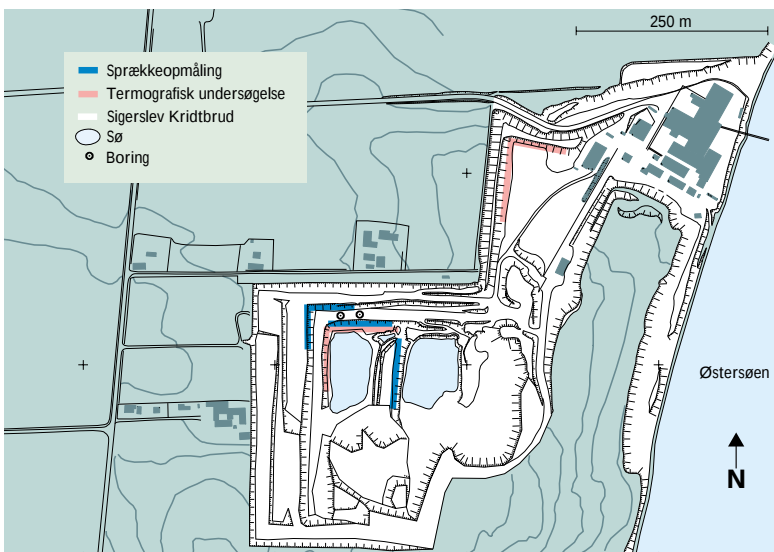
I Danmark indvindes ca. en tredjedel af drikkevandet fra kalklag, som findes i store dele af landet (figur 1). Kalklag udgør derfor vigtige grundvandsmagasiner i Danmark. Kalklag er i sig selv ret tætte; men da de tit er opsprækkede, kan der alligevel foregå en hurtig og relativ stor grundvandsstrømning i kalken. Det er derfor nødvendigt at kunne forstå strømningsvejene i kalklag for bl.a. at kunne sætte ind mod en forurening eller forureningsstrussel.

Forskere overalt i verden har i mange år søgt at beskrive grundvandsstrømningsforhold i forskellige typer af grundvandsmagasiner. Man er nået langt; men specielt beskrivelsen af strømningsvejene i opsprækkede lag volder stadig problemer.

Flerdimensionale sprækkemodeller, der tager udgangspunkt i opmålinger i felten sammen med diverse andre hydrauliske oplysninger, danner baggrunden for matematiske simuleringer af strømning af vand i sådanne lag. Det er dog ikke altid muligt at forudsige, i hvilke sprækker grundvandsstrømningen præcist foregår.



Figur 1. Kort over udbredelsen af kalkmagasiner i Danmark og vandværksboringer, hvorfra der indvindes drikkevand fra kalkmagasinerne. Cirka en tredjedel af den danske drikkevandsforsyning hentes via disse boringer. Det er derfor vigtigt at forstå grundvandsstrømningen i kalkmagasiner for bl.a. at kunne afværge forureningsstrusler.



Figur 2. I forbindelse med et EU medfinansieret forskningsprojekt (Fracflow) har GEUS søgt at belyse grundvandsstrømning i et opsprækket kalkmagasin bestående af kridt. Sigerslev Kridtbrud ligger på Stevn's umiddelbart ud til Østersøen. Her er der blevet udført sprækkeopmålinger samt, som noget nyt, termografiske undersøgelser. Resultaterne er blevet brugt til at opstille en strømningsmodel i skrivekridtet omkring Sigerslev Kridtbrud.

I forbindelse med et EU medfinansieret forskningsprojekt med titlen Fracflow (for mere information se: www.fracflow.dk) har GEUS afprøvet en ny metode til at forstå og belyse grundvandsstrømning i op-

sprækket kridt, nemlig termografi. Termografiundersøgelserne er udført i Sigerslev Kridtbrud (hvortil der velvilligt er givet adgang af Faxe Kridt A/S), og de er kombineret med opmålinger af de sprækker, der er

synlige på væggene i bruddet (figur 2). Undersøgelserne danner basis for en strømningsmodel for området omkring Sigerslev Kridtbrud; men kan modellen anvendes i hele Stevnsområdet? For at forsøge at besvare dette spørgsmål er der opstillet en tektonisk model for hele Stevnsområdet.

Sprækker

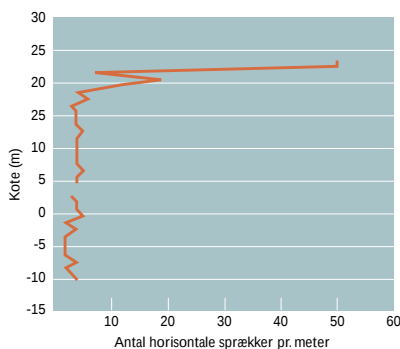
I Sigerslev Kridtbrud (figur 3) er kridtlagene blottede i lodrette vægge og visse steder også i bunden af bruddet. Dette har muliggjort en detaljeret opmåling af sprækker fra kote 30 m o.h. til 20 m u.h. (kote +30 m til kote -20 m)

Formålet med opmålingen af sprækker er bl.a. at finde ud af, hvor tæt opsprækket kalken er, hvilke typer af sprækker, der forekommer, at bestemme deres rumlige fordeling, deres udstrækning og forholdene mellem sprækketyperne.

Sprækkerne er beskrevet med hensyn til placering, orientering, størrelse, og hvorvidt der er belægninger på sprækkefladerne. Belægninger på sprækkefladerne tyder på, at der har strømmet meget iltholdigt vand i sprækkerne (se figur 5).

Sprækker kan efter orientering opdeles i sprækkesystemer. I Sigerslev Kridtbrud er der bestemt fem sprækkesystemer: et vandret og fire stejle.

De vandrette sprækker kan oftest følges mere end 10 m og skærer horisonter med flintlag uden at ændre retning. Flintlagene markerer mindre banker i skrivekridtet.



Figur 4. Afstanden mellem de vandrette sprækker bliver mindre opad i kridtlagene. De øverste 6 meter af kridtlagene er tæt opsprækkede som følge af knusning af en gletscher i sidste istid.



Figur 3. Faxe Kridt A/S kridtbrud ved Sigerslev på Stevns. Der opmåles sprækker i forbindelse med det EU støttede projekt "Fracflow". Projektet går ud på at undersøge opsprækket kridt med hensyn til strømning af grundvand gennem sprækkerne.

Afstanden mellem de vandrette sprækker aftager opad fra 40 cm til 20 cm (figur 4). De øverste ca. 6 meter af kridtet under det overliggende moræneler er tæt opsprækket; øjensynlig som følge af det tryk, som vægten af istidens gletschere i området har påvirket kridtet med.

De fire stejle sprækkesystemers orientering er: 25°, 60°, 145° og 175°. De stejle sprækker er opmålt langs afmærkede vandrette målelinier i kridtgraven (figur 2 og 3).

De stejle sprækkers længde i profilet varierer fra 20 cm til mere end 20 m. De vandrette sprækker deler kridtet op i en slags mekaniske lag. De stejle sprækker kan derfor inddeles i tre grupper efter hvor mange lag, de skærer (figur 6): flere lag, et enkelt lag eller indenfor et lag.

Flerlagssprækkerne forbinder flere spræk-



Figur 5. På billede ses sprækkeflade med belægning af jernoxider (rust).

ker end enkeltlagssprækkerne og vil dermed også kunne have større betydning for grundvandets strømning. Flerlagssprækernes foretrukne orientering er nord-nordøst syd-sydvest (figur 6).

På en del sprækkeflader er der belægninger af jernoxider og manganoxider (figur 5).



Figur 6. Billede af kridtvæggen viser de vandrette sprækker, som opdeler skrivekridtet i lag. Desuden ses stejle flerlagsprækker og enkeltlagsprækker.



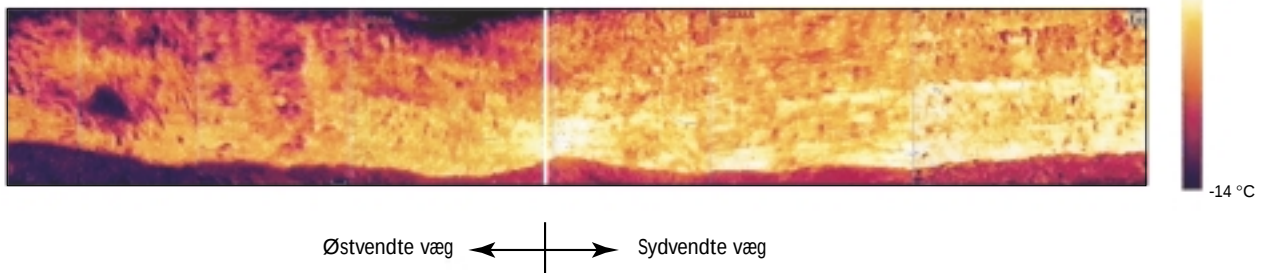
Figur 7. Billede af udstømmende vand fra sprække i sø i bunden af kridtgraven. Bunden af søen er dækket af kridt slam, og det udsivende vand danner kratere i slammet.

Belægningerne er afsat over tid fra iltholdigt grundvand og viser derfor, at grundvandet har strømmet gennem sprækken. Sprækker med belægninger har ligeledes en nord-nordøstlig syd-sydvestlig retning (figur 10). I bunden af kridtgraven siver der vand op fra sprækker også med en nord-nordøstlig syd-sydvestlig retning (figur 7 og 10).

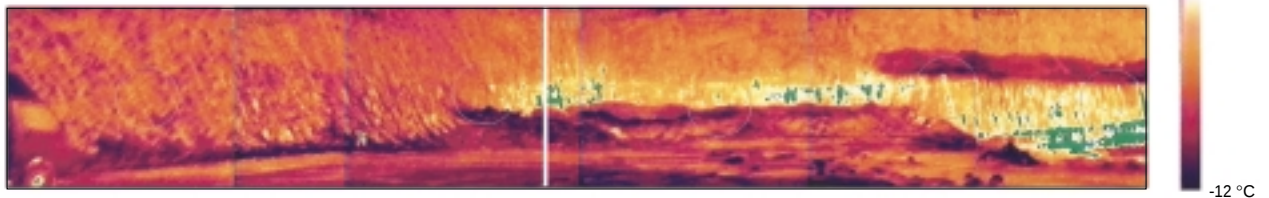
Termografi

For at finde ud af i hvilke sprækker, der strømmer grundvand, er vandets temperatur, som noget nyt, brugt som spormiddel (tracer). Dette kan lade sig gøre, hvor kridtbruddet er gravet ned under grundvandsniveauet i omgivelserne. Da grundvandets temperatur er forholdsvis konstant hele året (ca. 8°C), er det muligt v.h.a. et infrarødt kamera (IR-kamera) at tage "temperaturbilleder" (termografi), som viser, hvor grundvandet siver ud fra

Niveau A



Niveau B



Figur 8. Termografiske billeder af to hjørner i kridtbruddet set fra sydøst. Det øverste billede viser niveauet A (svarende til kote 0 til 20 m) og det nederste niveau B (svarende til kote -20 til 0 m). Billederne er taget en kold vinter morgen, hvor det forholdsvis varme grundvand siver ud på de kolde kridtvægge. Billederne viser, at de sydvendte vægge er varmere end de østvendte vægge, og at grundvandsstrømning til kridtgraven derfor er størst fra de sydvendte vægge

en enten varmere eller koldere vægoverflade i kridtbruddet. Med andre ord udnyttes den vejr- og årstidsafhængige temperaturforskel mellem kridtvæggens overflade og grundvandets konstante temperatur til at bestemme udstrømningen af grundvand fra sprækkerne i kridtbruddets vægge.

En kold vinter morgen, hvor solen endnu ikke var stået op, blev to nordvestlige hjørner i kridtbruddet fotograferet med IR-kamera (figur 2). Hjørnerne, hvor kridtlagene var helt blottagte, repræsenterer to niveauintervaller: Niveau A, øverst (kote 0 til 20 m) og B, nederst (kote -20 til 0 m). Resultatet af undersøgelsen (figur 8) viser generelt:

- at de sydvendte vægge er varmere end de østvendte vægge.
- at niveau A er koldere end niveau B.

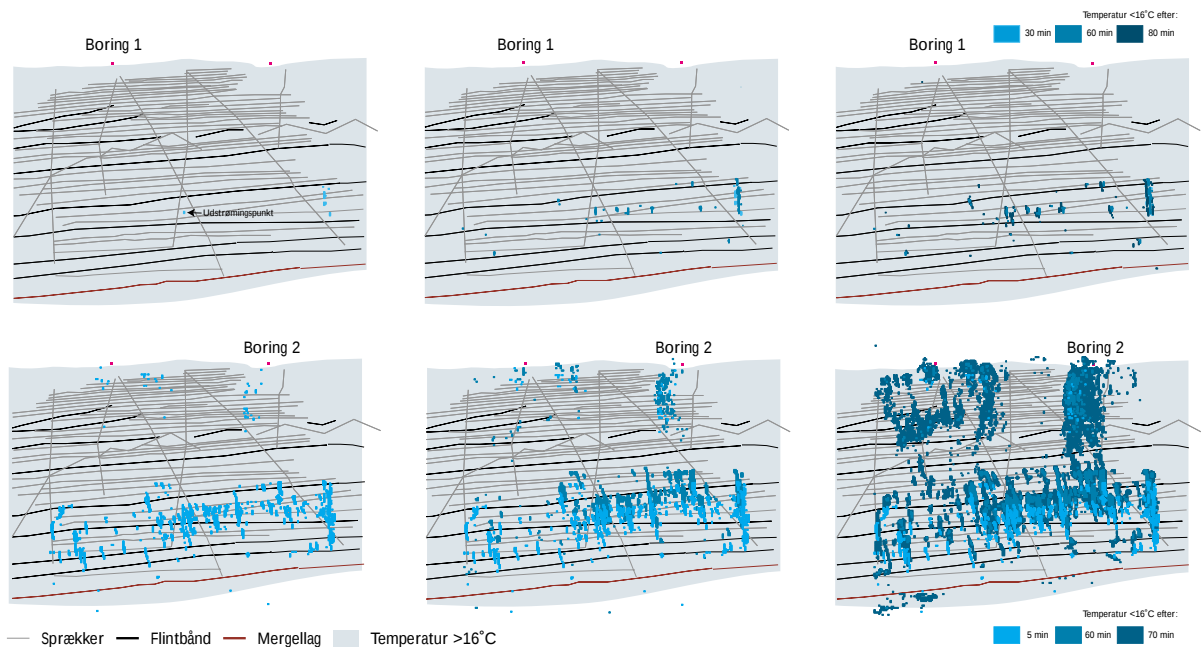
Dette stemmer overens med, at det forholdsvis varme grundvand især strømmer ned mod bunden af bruddet på grund af den oppumpning og grundvandssænkning, der finder sted. Siden temperaturen af de sydvendte vægge er højere end de østvendte vægge må der tilføres mere energi til dem. Dette peger på en større udstrømning af det forholdsvis varme

grundvand fra de sydvendte vægge end de østvendte vægge. En sammenkædning af denne iagttagelse med, at især flerlags-sprækker med orienteringerne 25° og 175° har belægninger, er et godt tegn på, at det er disse sprækker, som styrer grundvandets strømning i dette kridtmagasin.

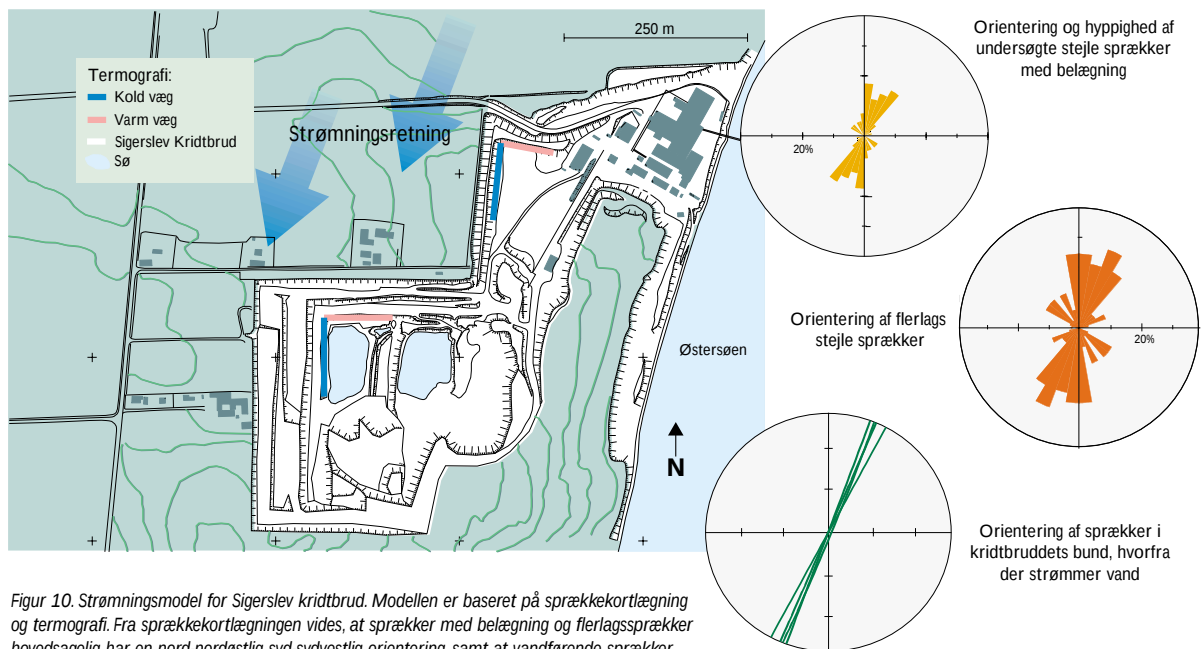
Termografier kan også vise, i hvilke sprækker grundvandsstrømningen foregår: På en varm sommerdag blev den sydvendte væg ud mod søerne i bruddets bund (niveau B) undersøgt v.h.a. termografi. To borer (boring 1 og 2, figur 2) et stykke bag kridtvæggens overflade blev fyldt med koldt vand, hvorved vandstanden i kridtet blev hævet. Vandet søgte ud til kridtvæggens overflade via sprækker. Den temperaturændring, det kolde udsivende vand forårsagede på overfladen, blev illustreret med IR-videokamera og kunne yderligere følges over tid. På figur 9 ser man en minimal og tidsmæssigt sen ændring af væggens temperatur ved injektion af vand i boring 1 og en hurtigere og markant ændring ved en tilsvarende injektion i boring 2. Denne forskel i udstrømnings mønster viser, hvor kompliceret strømningen er i opsprækkede lag. Dog viser sprækkarakteriseringen, at to store stejle sprækker med belægning og orienteringer mod nord-nordøst syd-sydvest krydser boring 2, og

at tilsvarende sprækker ikke krydser boring 1. Dette kan være forklaringen på den store kontrast i udstrømningsmønster, og hvornår det kolde grundvand siver ud på overfladen i de to situationer. Ved injektion af vand i boring 2 muliggør de to sprækker, at vandet hurtigt strømmer ud til kridtvæggens overflade, hvor det primært siver ud på de horisontale sprækker. Med tiden mættes kridtlagene omkring boring 2, og vandstanden begynder at stige i kridtvæggen, hvorfor der efter 60-70 minutters injektion ses en kraftig udstrømning af vand fra horisontale sprækker længere oppe i profilet. I boring 1 haves der ingen "motorveje" til kridtvæggens overflade, hvorfor udstrømningen af vandet forsinkes og minimeres betydeligt.

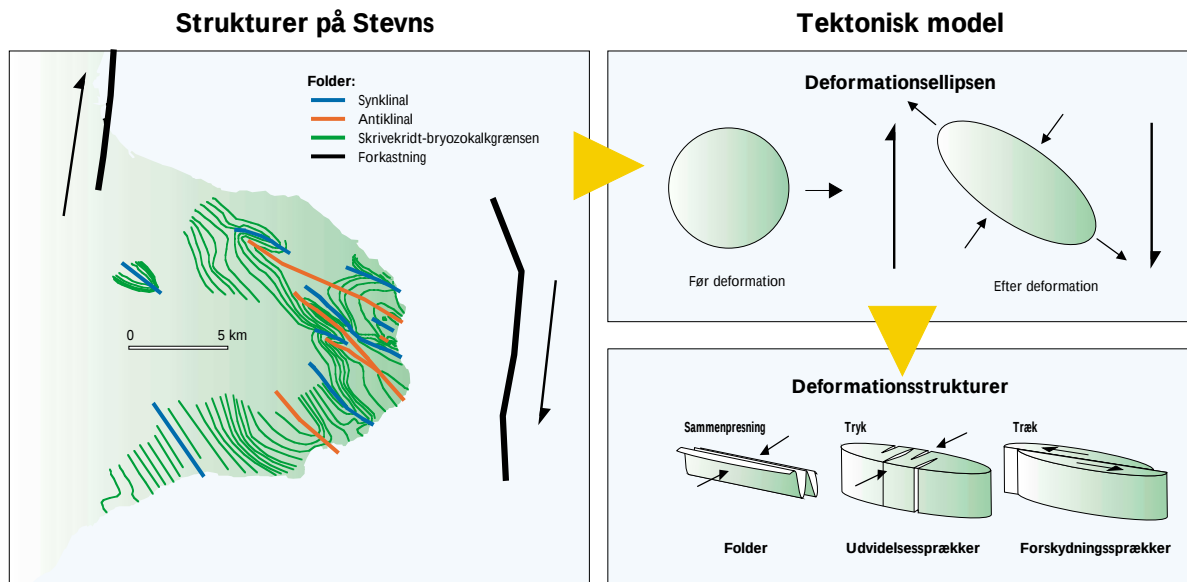
Termografien har vist sig at være et godt og brugbart redskab til at illustrere, hvor kompleks grundvandsstrømningen i dette kridtmagasin er; men at der alligevel er en form for systematik i det overordnede strømningsmønster. Koblingen mellem sprækketortlægningen og termografien har belyst grundvandsstrømningen i det opsprækkede kridtmagasin på en helt ny måde.



Figur 9. Tidsserier af termografiske billeder af den sydvendte væg ved kridtbruddets søer (niveau B) under injektion af koldt vand i boring 1 (øverste billedserie) og 2 (nederste billedserie). På hvert temperaturbillede er arealer, hvor temperature er under 16°C., markeret med en farve. Disse arealer illustrerer det udstømmende kolde vand på kridtvæggens overflade. For at kunne sammenholde den tidsmæssige ændring i temperaturen er arealer med temperaturer under 16°C videreført til næste temperaturbillede i billedserien. Der ses en minimal og tidsmæssig sen udstømning af det kolde vand på væggen ved injektion i boring 1, hvorimod injektionen i boring 2 resulterer i en hurtig og markant udstømning på væggen. Disse to vidt forskellige udstømningsmønstre viser, hvor kompleks sprækkestrømning er. Forklaringen på den store forskel kan være, at to store stejle sprækker skærer boring 2.



Figur 10. Strømningsmodel for Sigerslev kridtbrud. Modellen er baseret på sprækkekortlægning og termografi. Fra sprækkekortlægningen vides, at sprækker med belægning og flerlagsprækker hovedsagelig har en nord-nordøstlig syd-sydvestlig orientering, samt at vandførende sprækker i kridtbruddets bund har samme retning. Fra termografiene vides, at de sydvendte kridtvægge er mere vandførende end de østvendte kridtvægge. Disse resultater viser, at den dominerende strømningsretning i den nuværende situation med kunstig afsækning af vandstanden i søerne er mod syd-sydvest (se pilene på figuren).



Figur 11. Tektonisk model for Stevnsområdet. Den tektoniske model er baseret på strukturerne på Stevns. På Stevns er grænsen mellem skrivetridt og bryozokalk foldet. Foldeakserne ligger nogenlunde parallelt i nordvest-sydøstlig retning. Ved roden af Stevns halvøen og i havet øst for halvøen er der nord-syd gående forkastningslinier. Foldernes orientering i forhold til forkastningsmønstret viser, at der er sket en sideværts bevægelse med et vrid mellem forkastningerne. Ved en sideværts bevægelse langs to forkastninger sker der en deformation mellem dem, således at en oprindelig cirkulær form bliver elliptisk. I ellipsens længderetning sker der en strækning, og på tværs af ellipsen sker der en sammenpresning. Foldernes længderetning er parallelt med ellipsens, og sammenpresningen, der folder lagene, er vinkelret herpå. De sprækker, der dannes på tværs af deformationsellipsen, er udsat for en sammenpresning på langs af sprækken, hvilket åbner dem (udvidelsessprækker/ekstensionssprækker). Sprækkerne på langs af deformationsellipsen er udsat for strækning eller forskydning (forskydningssprækker). Orientering af flerlagssprækkerne, sprækkerne med belægninger og sprækkerne i bruddets bund, hvorfra der siver vand, er i nord-nordøstlig retning og tolkes på baggrund af den tektoniske model som værende ekstensionssprækker.

Strømningsmodel

Ved at kombinere sprække data fra opmålinger med termografidata er der opstillet en model for grundvandsstrømning i kridtmagasinet. Den samstemmende orientering af flerlagssprækkerne, sprækkerne med belægninger og sprækkerne i bruddets bund, hvorfra der strømmer vand, peger alle på en strømning mod syd-sydvest i det undersøgte område. Denne strømningsretning bekræftes af termografiundersøgelserne, hvor de sydvendte vægge (om vinteren) er varmere og dermed gennemstrømmet af mere grundvand end de østvendte vægge. Den generelle strømningsretning i kridtlagene må, i den nuværende situation med kunstig sænkning af vandstanden i søerne, være mod syd-sydvest (figur 10).

Opskalering

Strømningsmodellen er opstillet for Sigerslev Kridtgrav. Spørgsmålet er nu, om denne model gælder for hele Stevns eller blot beskriver forholdene i og omkring kridtgraven. Hvis modellen skal kunne opskaleres til en større del af Stevns, kræver det, at de

geologiske forhold, der har dannet sprækkerne også er gældende her.

De vandrette sprækker, der kan følges indenfor ret store arealer, tolkes til at være dannet ved aflastning, idet der i løbet af de sidste 24 mill. år er borteroderet 500 til 750 m overliggende sedimenter på Stevns. Da dette gælder for hele Stevns, må de vandrette sprækker antages at være tilstedeværende i skrivetridtet på store dele af Stevns.

De stejle sprækker er antagelig dannet i forbindelse med tektoniske hændelser. En overordnet tektonisk model er vist i figur 11. På Stevns er grænsen mellem Kridt/Tertiær (grænsen mellem skrivetridt og bryozokalk) foldet. Foldeakserne ligger nogenlunde parallelt i nordvest-sydøstlig retning. Ved roden af Stevns halvøen og i havet øst for halvøen er der nord-syd gående forkastninger. Foldernes orientering i forhold til forkastningsmønstret tyder på, at der er sket en vridning mellem forkastningerne (sideværts bevægelse). Denne tektoniske hændelse må have fundet sted senere

end aflejringen af bryozokalken, fordi denne indgår i folderne. Hændelsen hænger antageligt sammen med en nord-syd rettet sammenpresning i forbindelse med Alpernes dannelse og skyldes derfor i sidste ende kollisionen mellem den afrikanske og den europæiske kontinentalplade. De stejle sprækker i Sigerslev med orienteringen nord-nordøst syd-sydvest tolkes i denne tektoniske model som ekstensionssprækker (figur 11).

Med baggrund i bl.a. den tektoniske model (figur 11) antages både de horisontale og de stejle sprækker at have regional udbredelse, sådan at sprække- og strømningsmodellen kan opskaleres til at omfatte kridtlagene i hele Stevns området.

Denne sprække- og strømningsmodel vil, når den indgår i matematiske modeller give et mere realistisk billede af grundvandsstrømningen og dermed være et bedre værktøj til afværgelse af en forurening eller forureningstrussel fra overfladen.



RAV

Ravmuseet i Oksbøl, som er en afdeling af Museet for Varde By og Omegn, åbnede i 1998. Siden åbningen af museet har publikum efterlyst noget skriftligt, om de oplysninger, der findes på museet.

Den foreligger nu, som en smuk og let tilgængelig bog på 152 sider. Normalt bringer vort lille blad ikke anmeldelser, men i dette tilfælde gør vi en undtagelse, fordi rav straks associerer til geologi, selvom rav strengt taget mest har med biologi at gøre; men som

dog er dannet og bevaret som følge af gunstige geologiske processer og bevaringsforhold.

Kapitlet "RAV I NATUREN" (side 4-30) fortæller om udgangsmaterialerne for ravidannelse nemlig harpiks og andre plantesekreter. Der gøres rede for den globale forekomst af rav, hvor rav fra det baltiske område er omtalt for sig. Der er et afsnit om ravets kemiske og fysiske egenskaber og det forklares, hvorfor rav karakteriseres som en halvædelsten.

Der gives en beskrivelse af de skove, "Ravskoven" i tertiærtiden, hvis harpiks betingede ravidannelsen i det baltiske område og et afsnit skildrer indeslutninger af planter og dyr, der kan findes i rav. Endelig fortæles om forskellige ravformer, ravidannelse fx som dråber og om farver. Afsnittet ville være perfekt, hvis der havde været et lille geologisk kort, der viser hvilke geologiske lag rav stammer fra eller i det mindste et skema med den geologiske tidsinddeling, der viser de geologiske perioder, som nævnes under omtalen af de "ægte ravtyper"; det kan der måske rådes bod på i en evt. kommende udgave af bogen.

Resten af bogen er en glimrende gennemgang af ravets kulturhistoriske, økonomiske og politiske rolle fra oldtiden til i dag både i Norden (Baltikum) og globalt, med fine illustrationer og oversigtskort samt eksempler på anvendelse af rav som smykker og til brugsgenstande: skrin, piber, cigarrør, pynt på sølvtøj med meget mere.

Der fortælles om fyrstenes rav bl.a. den spændende historie om de "forsvundne" ravpaneler fra ravværelset i Sommerpaladset nær St. Petersburg; om rav for borgere og bønder; om rav for folket; om folket og medicin; om ravindustri og forfalskninger og til slut om alverdens rav og om rav i Danmark. Kort sagt kommer man hele vejen rundt om hvad rav er, hvor det findes og hvad det anvendes til, næsten intet er glemt. Sluttelig er der en ajourført (til 1999) liste over ravlitteratur.

Når jeg alligevel savner noget er det fordi jeg personligt interesserer mig for botanik: Det kunne være morsomt, om man havde fundet plads til billeder af de i bogen omtalte, nulevende harpiks- og balsam producerende træer og planter; men hvor skal man stoppe i en ellers fremragende illustreret bog, som kan anbefales på det varmeste til alle der interesserer sig for rav, dets historie og geologi.

"RAV" bogen er redigeret af Mariann Ploug, der tillige sammen med Ole Faber og Lene B. Frandsen har udarbejdet teksten. Bogen koster 100 kr. og kan købes på museet. Den distribueres fra Museet for Varde by og Omegn, Lundevej 4, 6400 Varde, tlf. 7522 0877.

Bogen foreligger på engelsk: "AMBER" og tysk: "BERNSTEIN"

Knud Binzer, GEUS

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet.

Institutionens hovedformål er at foretage geologisk kortlægning af Danmark og Grønland samt udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår.

Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer

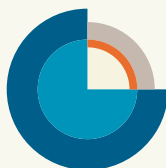
GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS er redigeret af seniorgeolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS
Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8, 2400 København NV.
Tlf.: 38 14 20 00
Fax.: 38 14 20 50
E-post: geus@geus.dk
Hjemmeside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion:

Henrik Klinge Pedersen, GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Peter Warno-Moors

Illustrationer: Annabeth Andersen og Henrik Klinge Pedersen.